

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
**ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
(повна назва інституту/факультету)

**КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ **Владислав ШЛИКОВ**  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломна робота**

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_ **клінічна інженерія** \_\_\_\_\_  
(назва)

спеціальності \_\_\_\_\_ **163 Біомедична інженерія** \_\_\_\_\_  
(код та назва)

на тему: Високотемпературний твердоелектролітний генератор кисню

Виконав: студент IV курсу, групи БМ-62  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ **Степанюк Олександр Олегович** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доц. каф. БМІ к.т.н. Богомолів Микола Федорович \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант доц. каф. надійності техніки, к.т.н. Троц Адам Адамович \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант 4 доц. каф. ОППЦБ, к. т. н. Демчук Гліб Вікторович \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Нормоконтроль ст. вик каф. БМІ Юр'єва Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент ст. викл. каф. ТМБ, к.т.н. Луценко Тетяна Миколаївна \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут)

Кафедра

Рівень вищої освіти

Спеціальність

Освітньо-професійна програма

Біомедичної інженерії

Біомедичної інженерії

Перший (бакалаврський)

Біомедична інженерія

Клінічна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Владислав ШЛИКОВ  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Степанюку Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Високотемпературний твердоелектролітний генератор кисню

керівник роботи Богомолів Микола Федорович, кандидат технічних наук, доцент  
кафедри біомедичної інженерії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1191-с

2. Термін подання студентом роботи «8» червня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: статті та книги з електрохімії, наукова література на  
тематику існуючих генераторів кисню; програмні продукти «AutoCAD 2014»,  
«Micro-CAP 9».

4. Зміст роботи: Огляд науково-технічної літератури по сучасних приладах та технологіях виробництва кисню; огляд електрохімічних основ генератору кисню на твердоелектролітному комбінованому вимірювальному перетворювачі; розробка прототипу генератора кисню на твердих електролітах та схеми його живлення, визначення галузей застосування приладу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2,3	Троц А. А. кандидат технічних наук, доцент кафедри надійності техніки НУБіП України		
4	Демчук Г.В., доцент кафедри охорони праці, промисловості та цивільної безпеки		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наукової літератури та огляд аналогів	13.04.20 – 17.04.20	
2	Огляд твдоелекстролітного вимірювального пертворювача	18.04.20 – 22.04.20	
3	Розробка робочої зони генератора	23.04.20 – 01.05.20	
4	Розробка нагрівача робочої зони генератора та схеми живлення	02.05.20 – 10.05.20	
5	Дослідження сфер застосування приладу	11.05.20 – 18.05.20	
6	Охорона праці	23.05.20 – 03.06.20	
7	Отримання рецензії та відгуку	04.06.20 – 06.06.20	
8	Здача роботи на нормоконтроль	06.06.20	
9	Захист дипломної роботи	17.06.20	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександр СТЕПАНЮК

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Микола БОГОМОЛОВ

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складає за обсягом 60 сторінок, містить 9 ілюстрацій, 18 таблиць, проаналізовано 28 літературних джерел.

Мета роботи: розробка високоефективного генератора кисню високої чистоти за допомогою методу електрохімічного електролізу з використанням діоксиду цирконію в якості твердого електроліту безпосередньо з повітря для медичних потреб.

Для досягнення мети дипломної роботи були поставлені такі задачі:

- огляд науково-технічної літератури по сучасних приладах та технологіях виробництва кисню;
- огляд електрохімічних основ генератору кисню на твердоелектролітному комбінованому вимірювальному перетворювачі;
- розробка прототипу генератора кисню на твердих електролітах, схем живлення і регулювання.

Актуальність: Кисень є дуже важливим елементом, що використовується у багатьох сферах промисловості та побуту і розробка методів його добування є вкрай необхідною. Даний проєкт дозволить отримати кисень надвисокої чистоти за допомогою методу електрохімічного електролізу безпосередньо з повітря. Розроблюваний генератор кисню є простим та невеликим у розмірах, що дозволить отримати портативний пристрій для застосування в умовах, що не дозволяють використовувати інші способи подачі кисню. Наприклад, в каретах «швидкої допомоги», польських шпиталях, фельдшерсько-акушерих пунктах.

Результати дипломної роботи апробовані на Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в ХХІ столітті» — Київ, 2020. Назва тез доповіді : «Високотемпературний твердоелектролітний генератор кисню».

Ключові слова: твердий електроліт, електроліз, генератор кисню, надчистий кисень.

## ANNOTATION

Diploma work consists of 60 pages, contains 9 illustrations, 18 tables, an analysis of 28 literary sources.

Diploma work goal: development of a highly efficient high-purity oxygen generator using the method of electrochemical electrolysis using zirconium dioxide as a solid electrolyte directly from the air for medical purposes.

There are following tasks in place for reaching the goal of the work:

- Review of scientific and technical literature on modern devices and technologies of oxygen production;
- Review of the electrochemical basis of the oxygen generator on the solid-electrolyte combined measuring transducer;
- develop of a prototype of an oxygen generator on solid electrolytes, power supply and control circuits.

Relevance: Oxygen is a very important element used in many areas of industry and everyday life and the development of methods for its extraction is essential. This project will allow obtaining ultra-high purity oxygen by electrochemical electrolysis directly from the air. The developed oxygen generator is simple and small in size, which will allow you to get a portable device for use in conditions that do not allow the use of other methods of oxygen supply. For example, in ambulances, field hospitals, medical and obstetric points.

The results of diploma work published at the All-Ukrainian scientific and technical conference of students and graduate students "Radio Electronics in the XXI century" - Kyiv, 2020. Title of the thesis: "High-temperature solid electrolyte oxygen generator"

Key words: solid electrolyte, electrolysis, oxygen generator, ultrapure oxygen.

## ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КИСНЮ В МЕДИЦИНІ .....	10
1.1 Медико-біологічні властивості кисню .....	10
1.2 Основні методи отримання кисню .....	12
1.3 Теоретичні основи використання твердих електrolітів. ....	16
Висновки до розділу 1 .....	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА КИСНЮ .....	20
2.1 Огляд узагальнених конструкцій твердоелектrolітних вимірювальних перетворювачів .....	20
2.2 Будова кулонометричного осередку .....	23
2.3 Розробка активної зони генератора кисню .....	24
Висновки до розділу 2 .....	28
РОЗДІЛ 3 .....	29
РОЗРОБКА СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТА НАГРІВУ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА КИСНЮ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ .....	29
3.1 Конструктивна схема та розрахунок параметрів нагрівача .....	29
3.2 Розробка схеми живлення .....	40
3.3 Використання розробленого генератора кисню. ....	43
Висновки до розділу 3 .....	46
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	48
Вступ .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
4.1 Характеристика об'єкту, який розробляється .....	48
4.1.1 Характеристики об'єкту .....	48
4.1.2 Складові частини генератора кисню .....	49

					<b>БМ62.14.2505.1191</b>			
Вим		№ докум. №		Дата				
Розробив	Степанюк О.О.				Високотемпературний твердоелектrolітний генератор кисню	Літ.		
Перевішив	Богомолов М. Ф.							
Реценз.	Луценко Т. М.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.	Юр'єва К. О.							
Затвердив	Шликов В.В.							

4.1.3 Характер взаємодії генератору в системі «людина – об’єкт» .....	49
4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією генератора кисню та заходи їх усунення.....	50
4.2.1 Теплові небезпеки.....	50
4.2.2 Механічні небезпеки.....	51
4.2.3 Небезпека пожежі .....	52
4.2.4 Небезпека ураження людини електричним струмом.....	53
4.3 Розробка «Інструкції з техніки безпеки при експлуатації генератору»	54
Висновки до розділу 4 .....	55
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	57

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КЦА – короткоциклова адсорбція

ВКЦА – вакуумна короткоциклова адсорбція

УМС – вугільно-молекулярне сито

ТЕКВП – твердо електролітний вимірювальний перетворювач

ЕРС – електрорушійна сила

ФАП – фельдшерсько-акушерний пункт

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

Кисень — дуже важливий біогенний хімічний елемент, що використовується для дихання більшості живих організмів на планеті. Кисень має широкий спектр дії, але основним лікувальним ефектом вважається його можливість компенсувати недостатність кисню в тканинах організму при гіпоксії.

На даний час в медицині широко використовується кисень, що обумовлено його властивостями. Існує кілька найпоширеніших технологій отримання кисню: мембранна, кріогенна та адсорбційна. В роботі було розроблено генератор, що ґрунтується на властивості провідності діоксиду цирконію для йонів кисню при його нагріванні, тобто в якості твердого електроліту. Найближчим аналогом генератору, що розробляється є кисневий концентратор.

Метою роботи є розробка високоефективного генератора кисню високої чистоти за допомогою методу електрохімічного електролізу безпосередньо з повітря для медичних потреб.

Основні задачі: Огляд науково-технічної літератури по сучасних приладах та технологіях виробництва кисню; огляд електрохімічних основ генератору кисню на твердоелектролітному комбінованому вимірювальному перетворювачі; розробка прототипу генератора та схем живлення і регулювання; проведення експериментальних досліджень та виявлення сфер застосування приладу.

## РОЗДІЛ 1

### ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КИСНЮ В МЕДИЦИНІ

#### 1.1 Медико-біологічні властивості кисню

Кисень — найважливіший біогенний хімічний елемент, що забезпечує дихання більшості живих організмів на Землі. Фізіологічна дія кисню різнобічна, але вирішальне значення в його лікувальному ефекті має здатність відшкодовувати дефіцит кисню в тканинах організму при гіпоксії.

Кисень належить до групи препаратів антигіпоксантив і антиоксидантів. Має здатність зв'язуватися з гемоглобіном крові в легенях і в комплексній сполуці з гемом переноситься до клітин організму. Є сильним окислювачем і необхідним елементом в метаболічних перетвореннях вуглеводів, білків і жирів в енергетичний матеріал для забезпечення життєдіяльності організму[1].

В організмі людини кисень проходить через легеневу тканину в кров, з'єднуючись з гемоглобіном еритроцитів і частково розчиняючись у плазмі. Далі відбувається транспортування кисню до тканин організму, де він дифундує в міжклітинну рідину тканини. Кінцевий етап дихання — утилізація кисню при біологічному окисненні і утворення енергії в клітинах, далі через ряд змін виділяється легеньми у зв'язаному вигляді як діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ).

В медичній практиці кисень використовується для лікування та профілактики захворювань, що супроводжуються гіпоксією: захворювання органів дихання (пневмонія, набряк легенів, бронхіальна астма, пневмосклероз), захворювання серцево-судинної системи (серцева недостатність, коронарна недостатність), отруєння (окисом вуглецю, синильною кислотою, задушливими газами). Оскільки кисень є активною речовиною, він може взаємодіяти з іншими речовинами, що, в свою чергу,

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

може збільшити ефективність використання кисню. Використання зволожувачів також збільшує ефективність використання кисню.

Застосовується також при проведенні загальної анестезії в поєднанні з засобами інгаляційного наркозу та в післяопераційний період; для приготування кисневих коктейлів, пінок. Для більшості цілей необхідний кисень чистою не менше 99,5%[2].

У госпітальних умовах частіше застосовують як інгаляції через спеціальні маски із гуми або пластичних мас, підключені безпосередньо до сталевих балонів, що містять кисень.

В амбулаторній практиці і вдома частіше використовують спеціальні гумові або пластикові контейнери (подушки), заповнені киснем або його сумішшю.

Крім цього кисень використовується для гіпербаричної оксигенації, тобто подачі кисню під підвищеним тиском. Для застосовують спеціальні вентиляційні, так звані барокамери, де кисень надходить як інгаляційним шляхом, так і через слизові оболонки та шкіру.

Найчастіше застосовують інгаляційно у вигляді суміші з повітрям у концентрації 40–60% в об'ємі 4–5 літрів за хвилину. Використовують також суміш під назвою «карбоген», яка складається із 95% кисню і 5% вуглекислого газу. Звичайно суміш подають зволоженою.

При гіпербаричній оксигенації кисень подають під тиском 1,2–2 атм. З терапевтичною метою проводять 8–10 сеансів.

Також нині популярним є приготування кисневих коктейлів та пінок: кисень змішаний з харчовими продуктами, соками, настоями лікарських трав вживається в якості харчового продукту для покращення процесів травлення та загального стану організму. Хоч такі коктейлі не є лікарськими засобами і їх ефективність не підтверджена, але вони залишаються досить популярним продуктом.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Крім медицини кисень використовується у багатьох галузях людського життя.

Кисень повітря має надзвичайно важливе значення для процесів горіння. Спалюючи різні види палива, одержують тепло, яке використовують для задоволення найрізноманітніших потреб, в тому числі для перетворення його в механічну і електричну енергію. За участі кисню повітря згоряє паливо на теплоелектростанціях, пальне у двигунах автомобілів, випалюють металічні руди на заводах кольорової металургії.

## 1.2 Основні методи отримання кисню

Найпростішим способом отримання кисню це його отримання з атмосферного повітря. Для цього використовують спеціальні пристрої – кисневі установки.

Киснева установка - пристрій для виробництва кисню за допомогою його відділення від інших складових повітря. Робота установки ґрунтується на різних принципах: фізичній адсорбції (короткоциклова (КЦА) і вакуумна короткоциклова (ВКЦА) адсорбція), мембранному поділу і кріогенній ректифікації.

Технологія адсорбції заснована на поглинанні молекулярними ситами певних речовин, за рахунок цього забезпечується поділ повітряної суміші. Адсорбційна технологія дозволяє ефективно отримувати з атмосферного повітря такі гази як азот і кисень.

У 70-ті роки двадцятого століття було виявлено, що при сушці повітря на цеолітах методом КБА відбувається збільшення концентрації кисню. Після цього були запропоновані схеми отримання кисню методом адсорбції. Уже у 80-і рр. технологія отримала поширення і почалося виробництво та

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

використання адсорбційних установок, що здатні виробляти кисень з чистотою до 93%.

Установки працюють за принципом короткоциклової безнагрівної адсорбції (КЦА). На сьогоднішній день набули поширення три методи організації циклічного безнагрівного процесу адсорбційного розділення повітря: напірні - Pressure Swing Adsorption (PSA), вакуумні - Vacuum Swing Adsorption (VSA) і змішані - Vacuum Pressure Swing Adsorption (VPSA).

Для напірних схем - Pressure Swing Adsorption (PSA) - кисень виділяють при тиску вище атмосферного, а стадія регенерації адсорбенту протікає при атмосферному тиску. У вакуумних схемах - Vacuum Swing Adsorption (VSA) - азот (кисень) отримують при атмосферному тиску, регенерація проводиться при негативному тиску. Робота змішаних схем - Vacuum Pressure Swing Adsorption (VPSA) - поєднує зміну тиску від позитивного до негативного.

При проходженні повітря через один з 2 адсорберів, що працюють по черзі, заповнених адсорбентом - найчастіше вугільно-молекулярним ситом (УМС) відбувається переважна адсорбція кисню на УМС і, при цьому, газове середовище збагачується азотом. При насиченні УМС киснем повітря спрямовується в інший адсорбер, у відпрацьованому адсорбері тиск знижується до атмосферного і він продувається частиною продукovanого азоту, при цьому з УМС видаляється адсорбований кисень і властивості УМС відновлюються. Розділення повітря адсорбційним методом реалізується при температурах  $+10 \dots +40^{\circ}\text{C}$  [3].

Широкому впровадженню адсорбційних установок сприяли їх конкурентні переваги перед альтернативними способами отримання кисню, в основному, перед кріогенним. На відміну від нього адсорбційний спосіб дозволяє створювати набагато менші установки, що дозволяють вирішувати локальні завдання. При цьому вихід на режим адсорбційного генератора не перевищує 10-15 хв. Крім того, прогрес у розробці оптимальних схем і адсорбентів привів до того, що до теперішнього часу вартість кисню виявилася

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

практично однаковою для обох способів його отримання. Проте, основним недоліком цієї технології є те, що максимальна концентрація кисню на виході не може перевищувати 93-95%, тоді, як для більшості медичних цілей необхідний кисень з концентрацією більше 99%, також переважна більшість існуючих установок не є портативними і займають багато простору, що унеможлиблює їх використання в каретах швидкої чи польових госпіталях.

Мембранна технологія поділу газів ґрунтується на використанні мембрани, за допомогою якої відбувається розподіл газів. Сучасна газороздільна мембрана являє собою порожнисте волокно.

Для технологій мембранного поділу газів застосовується сучасна половолоконна мембрана, що складається з пористого полімерного волокна з газороздільним шаром нанесеним на його зовнішню поверхню. Пористе волокно має складну асиметричну структуру, щільність полімеру зростає з наближенням до зовнішньої поверхні волокна. Застосування пористих підкладок з асиметричною структурою дозволяє розділяти гази при високому тиску (до 6,5 МПа).

Товщина газороздільного шару волокна не перевищує 0,1 мкм, що забезпечує високу питому проникність газів через полімерну мембрану. Існуючий рівень розвитку технології дозволяє виробляти полімери, які мають високу селективність при поділі різних газів, що, відповідно, забезпечує високу чистоту газоподібних продуктів. Сучасний мембранний модуль, який використовується для технології мембранного поділу газів, складається зі змінного мембранного картриджа і корпусу. Щільність упаковки волокон у картриджі досягає значень 3000-3500 квадратних метрів волокна на один кубічний метр картриджа, що дозволяє мінімізувати розміри газороздільних установок. Принцип роботи установки зображений на рисунку 1.1.

					<b>БМ62.14.2505.1191</b>	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

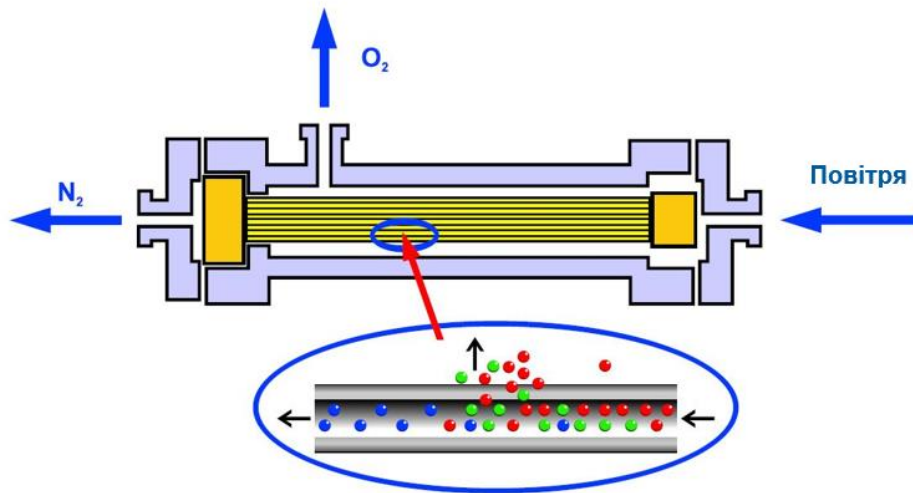


Рисунок 1.1 - Схематичне зображення газороздільного модуля

Корпус модуля має один патрубок для входу вихідної суміші газів і два патрубків для виходу розділених компонентів.

Поділ суміші за допомогою мембранної технології відбувається за рахунок різниці парціальних тисків на зовнішній і внутрішній поверхнях поволоконної мембрани. Газы, «швидко» проникаючі через полімерну мембрану (наприклад  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , пари води, вищі вуглеводні), надходять всередину волокон і виходять з мембранного картриджа через один з вихідних патрубків. Газы, «повільно» проникаючі через мембрану (наприклад,  $CO$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ ), виходять з мембранного модуля через другий вихідний патрубок [4].

До переваг можна віднести простоту конструкції. Наявність в стисненому повітрі вологи не регламентується і помітно не впливає на функціонування мембран більшості виробників. Розміри установки можуть коливатися у великому діапазоні в залежності від необхідного виходу та чистоти кисню.

Недоліком є те, що за допомогою мембранних установок можливо отримати кисень чистотою до 55%. Це значення можна підняти, якщо використовувати багатоступеневу очистку, що збільшує габарити

установки. Також мембрана потребує періодичної заміни і коштує доволі дорого.

Технологія розділення повітря за допомогою кріогенних температур на основні газові компоненти використовується уже доволі давно. Принцип роботи кріогенних установок заснований на зріджуванні повітря і подальшому його поділі на азот, кисень і аргон.

Такий спосіб отримання газів називається поділом повітря методом глибокого охолодження. Спочатку повітря стискується компресором, потім, після проходження теплообмінників, розширюється в машині-детандері або дросельному вентилі, в результаті чого охолоджується до температури 93 ° K і перетворюється в рідину.

Подальший поділ рідкого повітря, що складається в основному з рідкого азоту і рідкого кисню, засноване на відмінності температури кипіння його компонентів: кисню - 90,18°K, азоту - 77,36°K. При поступовому випаровуванні рідкого повітря спочатку випаровується переважно азот, а що залишається рідина все більш збагачується киснем. Повторюючи подібний процес багаторазово на ректифікаційних тарілках повітророздільних колон, отримують рідкі кисень, азот і аргон потрібної чистоти[5].

Такі установки залишаються найбільш популярними на сьогодні, оскільки дозволяють отримувати кисень надвисокої чистоти (99%) у великих кількостях. Але такі установки мають ряд недоліків, що унеможливають їх використання у медичних установах. Перш за все, це їх великі габарити.

### 1.3 Теоретичні основи використання твердих електролітів.

Серед матеріалів, що можуть бути використані в якості твердих електролітів найбільшого поширення набув діоксид цирконію  $ZrO_2$  [6].

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

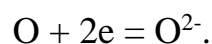


Діоксид цирконію ( $ZrO_2$ ) цікавий як керамічний матеріал, що володіє корисними оптичними, електричними, термічними, міцнісними та іншими властивостями, а фазові переходи в ньому і стабілізація є предметом багатьох експериментальних і теоретичних досліджень. При температурах нижче  $1170^\circ C$  термодинамічно стійка моноклінна фаза (m) нелегованого  $ZrO_2$ . Нелегований  $ZrO_2$  від  $1170$  до  $2370^\circ C$  є тетрагональним (t), а вище  $2370^\circ C$  до точки плавлення ( $2706^\circ C$ ) - кубічним (c). Кубічна фаза може бути стабілізована (тобто температура переходу с t може бути понижена) введенням таких добавок, як  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Y_2O_3$  і подібними[7].

Чистий діоксид цирконію є хорошим ізолятором, іонна провідність в ньому практично відсутня, оскільки для формування кисневих вакансій потрібна висока енергія. Стабілізація діоксиду  $ZrO_2$  домішками, що мають ступінь іонізації нижче, ніж у  $Zr$ , призводить до виникнення відповідної кількості кисневих вакансій. В результаті стабілізований діоксид цирконію проводить електричний струм при температурах вище  $700^\circ C$ . При цьому залежність провідності від температури має досить складний двухекспонентний характер, і провідність не є лінійною функцією числа кисневих вакансій.

У твердих електролітах (ТЕ) на основі  $ZrO_2$  провідність забезпечується тільки аніонами кисню (уніполярна або селективна провідність). Така поведінка електропровідності дозволяє використовувати тверді електроліти на основі стабілізованого  $ZrO_2$  в прикладних цілях.

Маючи у зовнішній електронній оболонці шість електронів, атоми Оксигену, що знаходяться в повітрі у вигляді кисню, енергійно приєднують два електрони, що віддає негативно заряджений електрод (катод), яких їм бракує для завершення валентної оболонки, і перетворюються у від'ємні двовалентні іони:



					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

Ці іони активно проходять через діоксид цирконію, де віддають два електрони позитивно зарядженому електроду. На позитивному аноді є недолік електронів. Негативні іони, досягнувши анода, віддають йому свої зайві електрони, відновлюючись до первісного стану. Таким чином забезпечується виділення кисню з повітря.

Щоб забезпечити можливість застосування діоксиду цирконію як конструкційного вогнетривкого матеріалу, одну з її високотемпературних поліморфних модифікацій необхідно зробити стабільною у всьому інтервалі температур. Для стабілізації високотемпературних модифікацій в нього вводять добавки ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  і ін.), що призводять до збільшення середнього розміру радіусу катіонів [7,8].

## Висновки до розділу 1

Оксиген — найпоширеніший на Землі елемент. Вільний кисень відіграє велику роль в біохімічних і фізіологічних процесах, зокрема в диханні.

Кисень широко застосовується практично у всіх сферах людського життя: в промисловості, в медицині, в побуті. Постійна необхідність в кисню сприяє розвитку існуючих та розробці нових способів його видобутку.

На даний час існують технології, що дозволяють виробляти кисень безпосередньо із повітря, але кожен з них має свої переваги та недоліки. Так, наприклад, мембранна технологія проста у виготовленні та експлуатації, але не дозволяє досягти високої концентрації кисню на виході. Адсорбційна технологія виконує деякі медичні задачі, проте максимальна концентрація нижча за необхідну (<99%). Ці вимоги може задовольнити кріогенна технологія, але установки мають великі габарити, тому не можуть бути установлені у лікарнях, санаторіях та інших закладах, де це необхідно.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

Провідність стабілізованого діоксиду цирконію по кисню дозволяє використати його в якості твердого електроліту для відділення кисню від повітря електрохімічним способом, що дає можливість розробити для отримання кисню за допомогою цього методу.

Тому можна зробити висновок, що попри розвиток технологій виробництва кисню, є місце новим розробкам, які будуть задовольняти вимоги, які ставляться до генераторів кисню. Нині існує ще багато галузей, в яких генератори можуть замінити важкі непрактичні балони що використовуються в даний час.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА КИСНЮ

#### 2.1 Огляд узагальнених конструкцій твердоелектролітних вимірювальних перетворювачів

Діоксид цирконію, завдяки своїм властивостям набув популярності в паливних елементах та вимірювачах. Нижче наведено класифікацію твердоелектролітних перетворювачів

Класифікація наводиться за [9]:

а) по типу виробництва твердих електролітів:

- 1) монокристалічні;
- 2) полікристалічні;

б) По типу вимірювання потенціалу електролітів:

- 1) з рівноважним електролітом (платина);
- 2) з нерівноважним електролітом (срібло);

в) По методу вимірювання:

- 1) потенціометричний;
- 2) кулометричний;
- 3) комбінований;

г) По типу вимірювання середовища:

- 1) для вимірювання газових середовищ;
- 2) для вимірювання рідких металів;

д) По технології вимірювання перетворювача:

- 1) об'ємний;
- 2) плівковий;

е) По типу електрода порівняння:

- 1) з газовим електродом порівняння ( повітря, бінарна суміш ) ;

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2) з рідкометалевим електродом порівняння (  $\text{LiO} - \text{Li}$  ) ;

3) з металевим електродом порівняння;

є) За формою чутливого елемента:

1) пробірочний;

2) таблеточний;

3) трубочний;

4) плівковий;

ж) По каталітичним добавкам в електрод:

1) з активними каталітичними добавками;

2) з каталітичною отрутою.

Використання діоксиду цирконію в якості твердого електроліту для виробництва кисню добре описано в патенті твердоелектролітного комбінованого вимірювального перетворювача [10, 11].

Загальна структура давача пробірочного типу наведено на рисунку 2.1

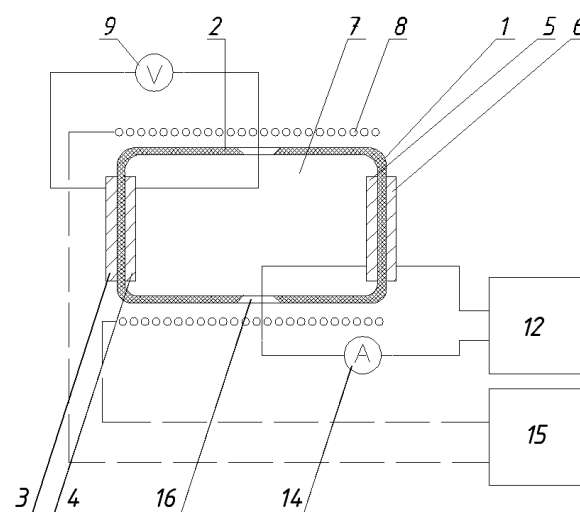


Рисунок 2.1 — Будова твердоелектролітного комбінованого вимірювального перетворювача.

Електрохімічний давач складається з двох твердоелектролітних пробірок (1, 2), які з'єднані між собою за допомогою високотемпературного клею (3). Клей є газонепроникним діелектриком. Твердоелектролітні пробірки

створюють замкнений опорний газовий простір (4). На пробірці (1) нанесено вимірювальний електрод (6) та електрод порівняння (5), причому електрод (5) контактує з опорним газовим середовищем (4), а вимірювальний електрод (6) – з вимірюваним середовищем. Електроди (5) та (6) разом з твердим електролітом пробірки (1), опорним простором (4) та вимірюваним середовищем утворюють потенціометричну електрохімічноактивну зону. Аналогічно на пробірці (2) нанесено електроди (3) та (4), які разом з твердим електролітом пробірки утворюють кулонометричну електрохімічноактивну зону. На зовнішній бік пробірок (1, 2) там, де вони вільні від електродів, нанесене захисне покриття з високотемпературного, газонепроникного для кисню електроізоляційного матеріалу.

Для встановлення робочої температури твердого електроліту понад електроізоляційним покриттям на пробірках (1, 2) намотана котушка кабельного нагрівача (8). До електродів (3) та (4) слід під'єднати вимірювач напруги (9). ЕРС на потенціометричній парі є функцією від різниці парціальних тисків кисню в опорному газовому середовищі (4) та вимірюваному середовищі. Концентрація кисню в середовищі (4) задається струмом, що протікає кулонометричною парою електродів (5, 6) – струму дозування. Джерелом електричної енергії для цієї пари виступає джерело живлення кулонометричної пари (12). При цьому витрата кисню контролюється за струмом дозування (14). Регулювання температури відбувається за допомогою термостабілізатора (15), за сигналом якого міні-інтерфейс керує потужністю, що виділяється на нагрівачі. Пробірки (1,2) разом з електродами та опорним газовим простором утворюють твердо електролітну комірку.

За основу розроблюваного приладу було взято кулонометричний осередок, що безпосередньо виконує генерацію кисню в опорний газовий простір. Для цього було детально розглянуто будову кулонометричного осередку.

					<b>БМ62.14.2505.1191</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2.2 Будова кулонометричного осередку

У якості електродів використовується рівновага платиновий електрод, нанесення на робочі поверхні твердоелектролітного осередку методом вживання платинової пасти з розмірами зерен 40 мкм напівтемний. Крім цього електроди можна встановити на шлікер із порошку відповідно твердого електрода або витравлюються в суміші платинової пасти й порошку твердоелектроліта. Електроди можуть бути у виді смужок на ширині і відстані або пористими. У якості каталізатора електрохімічній реакції, що протікає на гранці трьох фаз, до складу електродів додається невелика кількість палладія ( $0,001 \div 0,01$  % по масі). Найбільш оптимальною площею електродів є площа, яка складається з 40 % від площі робочі поверхні твердого електроліта. Крім каталізатора, являє особливість поверхонь вимірювального електрода, каталітичного шару. Товщина цього каталітичного шару приблизно 50 мкм.

Поверхня вимірювального електрода повинна покриватися захисним покриттям для запобігання засмічування електрода. Саме захисне покриття являє собою шар фторопласти проникний для кисню. Для виключення попадання кисню усередину таблетки й для виключення кисневої проникності неробочі бокові поверхні покриваються високотемпературним кисненепроникним покриттям з високотемпературною сіткою емалі на основі  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Найбільш оптимальна температура для таблетки -  $900^\circ\text{C}$ .

На рис. 2.2 зображена конструкція кулонометричного твердоелектролітного осередку.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

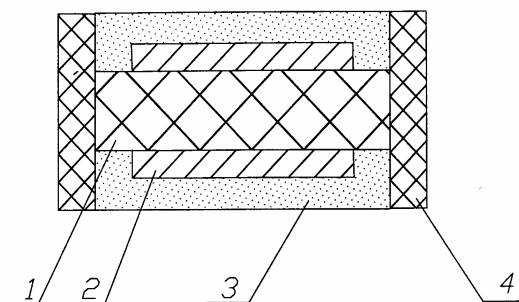


Рисунок 2.2 – Конструкція кулометричного твердоелектролітного осередку: 1 – твердий електроліт; 2 – електроди; 3– захисний кисненепроникний шар; 4 – кисненепроникне покриття.

Існує проблема з'єднання таблетки з металевою частиною корпуса давача. Але ця проблема має рішення. Технологія з'єднання таблетки з металевою частиною корпуса датчика включає в себе різні варіанти: високотемпературна пайка, склеювання за допомогою високотемпературного клею, гідростатичний обкат.

### 2.3 Розробка активної зони генератора кисню

Недоліком даного електрохімічного датчика є неможливість використання датчика в режимі кисневого генератора так як кисень, що pompується кулометричною частиною датчика в опорний газовий простір, через капіляр викидається назад в вимірювальне середовище.

В основу роботи поставлене завдання створити електрохімічний генератор кисню надвисокої концентрації з повітря або із іншої газової суміші, що в своєму складі вміщує кисень, на базі електрохімічного датчика кисню.

Поставлене завдання досягається тим, що в електрохімічному генераторі кисню, що містить в собі твердоелектролітний диск з нанесеними на його робочих поверхнях електродами з виводами, при цьому диски з'єднані між собою за допомогою електропровідної трубки з капіляром, краї якої



герметично з'єднані з їх боковими поверхнями, на які нанесений температурний демпфуючий матеріал, при цьому трубка електрично з'єднана з електродами, що розміщуються в середині її. Для проходження електрохімічної реакції достатньо подати постійну напругу до 2В.

Крім цього в електрохімічному генераторі кисню було прийнято рішення, що твердоелектролітний диск варто виконати у вигляді пробірок або циліндрів. Наявність каналу подачі кисню, з'єданого з капіляром, дозволяє відбирати отримуваний кисень із зовнішнього газового середовища і подавати його користувачу.

Виконання диску у вигляді пробірки або циліндру дозволяє підвищити продуктивність генератора за рахунок збільшення робочої площі електродів.

Наявність одного отвору для виходу кисню, дозволяє збирати отриманий кисень та подавати його користувачу. Крім цього форма пробірки має такі переваги як зручність кріплення до корпусу та мінімальні розміри при великій площі робочої поверхні.

Але в процесі розробки було виявлено ряд недоліків, які можуть вплинути на ефективність роботи. Для пробірки такими недоліками були: висока киснева проникність стінок пробірки; низька механічна і температурна стійкість до термоудару (максимальний перепад не більше 50 °C); більша площа електродів, що призводить до ускладнення створення однорідного температурного поля. Для вирішення проблеми з високою проникністю стінок пробірки, було прийнято рішення винести частину пробірки, що не покрита електродами за межі нагрівача, щоб уникнути нагрівання до температури, необхідної для проходження кисню крізь стінки, також можна покрити високотемпературною керамічною замазкою, що не пропускає кисень. Проблема з низькою механічною стійкістю було вирішено за допомогою розширення площі контакту з кріпленнями. Крім цього пробірка закріплюватиметься нерухомо до корпусу канал для виходу газів із пробірки

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

буде виконаний з еластичних матеріалів, що зменшить навантаження на пробірку при ударах.

Оскільки форма пробірки є чутливою до перепадів температур, в наслідок дії яких вона може пошкодитись, було прийнято рішення використати нагрівач з меншою потужністю, який буде нагрівати пробірку поступово.

Пробірка виготовлена Харківським інститутом вогнеупорів ім. А.С. Бережного. Вони виробляють керамічні товари в широких масштабах, в тому числі і цирконієву кераміку.

На рисунку 2.3 представлено ескіз конструкції робочого елемента генератора кисню.

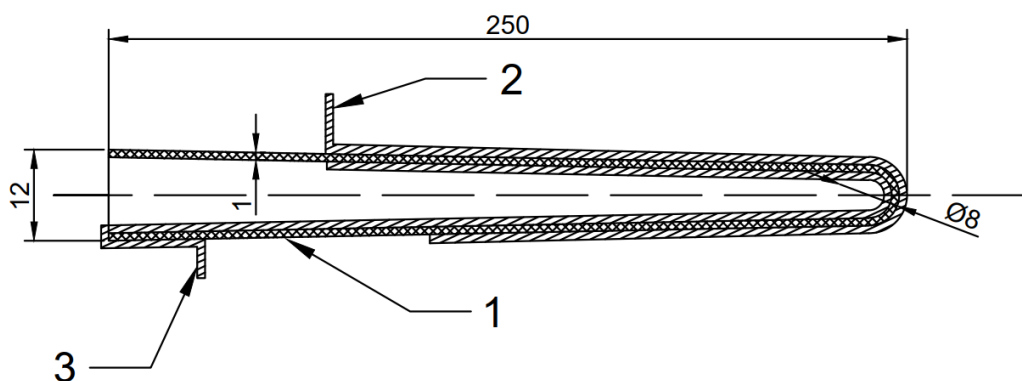


Рисунок 2.3 – Конструкція активної зони генератора: 1 – пробірка з твердого електроліту; 2 –зовнішній електрод; 3 –внутрішній електрод

Генератор працює таким чином. При підведенні напруги живлення до електроду 2 і струмовідводу 3 електричний заряд, що подається, іде на перезарядження подвійного електричного шару, а потім приймає участь в дозуванні кисню. На електроді 2, що заряджається негативно, відбувається дисоціація молекулярного кисню на атоми їх іонізація, що протікає на межі трьох фаз: твердоелектролітної стінки пробрки 1, негативно зарядженого електроду 2 та газового середовища. Під дією електричного поля виникає дифузія кисню через твердий електроліт до позитивно зарядженого струмовідводу 3. На ньому іони кисню звільняються від надлишкового заряду

і відновлюються до молекулярного кисню, підвищуючи концентрацію кисню в опорному газовому просторі. За рахунок перепаду загальних тисків в опорному газовому просторі в середині пробірки і зовнішньому середовищі через отвір пробірки проходить вимивання атмосфери опорного газового простору киснем, що поступає від активної зони генератора. Після подачі кисню в кількості 8-10 разів перевищуючої об'єм опорного газового простору початкове утворене середовище опорного газового простору повністю заміщується киснем. Необхідний час такої подачі кисню є часом підготовки генератора до роботи.

Технологія виготовлення зразка.

В якості електродів було обрано платину, оскільки її властивості відповідають вимогами до розроблюваного приладу. Платина являється одним із найбільш інертних металів, що дозволяє використовувати її для створення надзвичайно довговічних і стабільних електроконтактів і сплавів для електротехніки. Платина, особливо в дрібнодисперсному стані, є дуже активним каталізатором багатьох хімічних реакцій, в тому числі використовуваних в промислових масштабах. Тому для збільшення площі контакту електродів з електролітом було використано платиновий порошок (платинову чернь).

Для закріплення електродів на поверхні пробірки було використано платинову пасту.

До складу платинової пасти входить: платиновий порошок – 10 г, скіпідар – 2 г; каніфоль – 1г.

Для виготовлення платинової пасти необхідно розчинити каніфоль в скіпідарі. Ретельно розмішати, до отримання однорідної маси, додати платиновий порошок і знову розмішати. В результаті буде отримано суміш в'язкої консистенції, яку можна використовувати для нанесення на електроди[11].

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Пробірку промити у воді з мильним розчином, щоб прибрати можливі осади на поверхні та пил та знежирити за допомогою спирту. На внутрішню та зовнішню поверхні нанести платинову пасту невеликим шаром та закріпити виводи із платинової проволочки діаметром 0,3-0,5мм. Закріпити зразок чутливого елементу в муфельній печі. Поступовим нагріванням протягом 20 хвилин довести температуру в печі до 1200° С і витримати протягом 5 хвилин. Після цього вимкнути піч та охолодити до кімнатної температури ( 20-25° С). Дістати з печі підготовлений зразок.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі був розглянутий спосіб створення активної зони генератору кисню на основі твердих електролітів. Фізичне обґрунтування та один зі способів реалізації були застосовані у конструкції твердоелектролітного вимірювального перетворювача, в якому робота кулонометричної зони передбачає виділення кисню з повітря для утворення 100% електроду порівняння.

В процесі роботи було адаптовано конструкцію кулонометричної зони для роботи у якості генератора кисню. Було обрано форму для активної зони у вигляді пробірки, що дозволить збільшити площу поверхні контакту для збільшення ефективності приладу, а також така конструкція спрощує розміщення розробленого елемента в нагрівачі, закріплення його в корпусі, та установки на нього елементів для відведення кисню. В якості електродів було прийнято рішення використати платинові алектроди, оскільки платина є інертним матеріалом та чудовим каталізатором, що забезпечить довговічність електродів.

Також для закріплення електродів було використано платинову пасту на основі платинового порошка.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТА НАГРІВУ ДЛЯ ГЕНЕРЕТОРА КИСНЮ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

### 3.1 Конструктивна схема та розрахунок параметрів нагрівача

Безпосередньо нагрівач - один з найважливіших елементів печі, саме він здійснює нагрів, має найбільшу температуру і визначає працездатність нагрівальної установки в цілому. Тому нагрівачі повинні відповідати ряду вимог, які наведені нижче.

а) Нагрівачі повинні мати достатню жаростійкість і жароміцність. Жароміцність - механічна міцність при високих температурах. Жаростійкість - опір металів і сплавів газової корозії при високих температурах.

б) Нагрівач в електропечі повинен бути зроблений з матеріалу, що володіє високим питомим електричним опором. Говорячи простою мовою, чим вище електричний опір матеріалу, тим сильніше він нагрівається. Отже, якщо взяти матеріал з меншим опором, то буде потрібно нагрівач більшої довжини і з меншою площею поперечного перерізу. Не завжди в печі може бути розміщений досить довгий нагрівач. Також варто враховувати, що, чим більше діаметр дроту, з якої зроблений нагрівач, тим довше термін його служби. Прикладами матеріалів, що володіють високим електричним опором є хромонікелевий сплав ніхром Х20Н80, Х15Н60, залізохромоалюмінієвий сплав фехраль Х23Ю5Т, які відносяться до прецизійним сплавів з високим електричним опором.

в) Малий температурний коефіцієнт опору є істотним чинником при виборі матеріалу для нагрівача. Це означає, що при зміні температури електричний опір матеріалу нагрівача змінюється не сильно. Якщо температурний коефіцієнт електроопору великий, для включення печі в

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

холодному стані доводиться використовувати трансформатори, що дають в початковий момент знижена напруга.

г) Фізичні властивості матеріалів нагрівачів повинні бути постійними. Деякі матеріали, наприклад карборунд, який є неметалевим нагрівачем, з плином часу можуть змінювати свої фізичні властивості, зокрема електричний опір, що ускладнює умови їх експлуатації. Для стабілізації електричного опору використовують трансформатори з великою кількістю ступенів і діапазоном напруг.

д) Металеві матеріали повинні володіти хорошими технологічними властивостями, а саме: пластичністю і зварюваністю, - щоб з них можна було виготовити дріт, стрічку, а з стрічки - складні по конфігурації нагрівальні елементи. Також нагрівачі можуть бути виготовлені з неметалів. Неметалеві нагрівачі пресуються або формуються, перетворюючись в готовий виріб.

Найбільш придатними і самим використовуваним у виробництві нагрівачів є прецизійні сплави з високим електричним опором. До них відносяться сплави на основі хрому та нікелю (хромонікелеві), заліза, хрому і алюмінію (залізохромоалюмінієві). Представниками хромонікелевих сплавів є ніхром марок Х20Н80, Х20Н80-Н (950-1200 ° С), Х15Н60, Х15Н60-Н (900-1125 ° С), залізохромонікелеві - фехраль марок Х23Ю5Т (950-1400° С), Х27Ю5Т (950-1350° С), Х23Ю5 (950-1200° С), Х15Ю5 (750-1000° С). Також існують залізохромонікелеві сплави - Х15Н60Ю3, Х27Н70Ю3.

Перераховані вище сплави мають гарні властивості, тому вони можуть працювати при високих температурах. Хорошу жаростійкість забезпечує захисна плівка з окису хрому, яка утворюється на поверхні матеріалу. Температура плавлення плівки вище температури плавлення безпосередньо сплаву, вона не розтріскується при нагріванні і охолодженні.

Наведемо порівняльну характеристику ніхрому і фехралі.

Переваги ніхрому:

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

а) хороші механічні властивості як при низьких, так і при високих температурах;

б) сплав крипостійкий;

в) має хороші технологічні властивості - пластичність і зварюваність;

г) добре обробляється;

д) не старіє, немагнітний.

Недоліки ніхрому:

а) висока вартість нікелю - одного з основних компонентів сплаву;

б) більш низькі робочі температури в порівнянні з фехралю.

Переваги фехралі:

а) дешевший сплав порівняно з ніхромом, тому що не містить нікель;

б) має кращу в порівнянні з ніхромом жаростійкістю, наприклад, фехраль Х23Ю5Т може працювати при температурі до 1400° С (1400° С - максимальна робоча температура для нагрівача з дроту Ø 6,0 мм і більше; Ø 3,0 - 1350° С; Ø 1,0 - 1225° С; Ø 0,2 - 950° С).

Недоліки фехралі:

а) крихкий і неміцний сплав, дані негативні властивості особливо сильно проявляються після перебування сплаву при температурі більшій 1000 ° С;

б) оскільки фехраль має в своєму складі залізо, то даний сплав є магнітним і може іржавіти у вологій атмосфері при нормальній температурі;

в) має низький опір повзучості;

г) взаємодіє з шамотної футеровкою і оксидами заліза;

д) під час експлуатації нагрівачі з фехралі істотно подовжуються.

Останнім часом розроблені сплави типу Х15Н60Ю3 і Х27Н70Ю3, тобто з додаванням 3% алюмінію, що значно поліпшило жаростійкість сплавів, а наявність нікелю практично виключило наявні у залізохромоалюмінієвих сплавів недоліки. Сплави Х15Н60Ю3, Х27Н60Ю3 не взаємодіють з шамотом і оксидами заліза, досить добре обробляються, механічно міцні, некрихкі. Максимальна робоча температура сплаву Х15Н60Ю3 становить 1200° С.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

Крім перерахованих вище сплавів на основі нікелю, хрому, заліза, алюмінію для виготовлення нагрівачів застосовують і інші матеріали: тугоплавкі метали, а також неметали.

Серед тугоплавких матеріалів в якості нагрівачів можуть використовуватися вольфрам, молібден, тантал і ніобій. У високотемпературних вакуумних печах і печах із захисною атмосферою застосовуються нагрівачі з молібдену і вольфраму. Молібденові нагрівачі можуть працювати до температури 1700 ° С у вакуумі і до 2200°С - в захисній атмосфері. Така різниця температур обумовлена випаровуванням молібдену при температурах вище 1700 ° С у вакуумі. Вольфрамові нагрівачі можуть працювати до 3000 ° С. В особливих випадках застосовують нагрівачі з танталу і ніобію[12].

Малий температурний коефіцієнт опору є істотним чинником при виборі матеріалу для нагрівача. Фізичні властивості матеріалів нагрівачів повинні бути постійними.

Для розроблюваного приладу найбільш придатними є сплави на основі хрому та нікелю (хромонікелеві), а саме –ніхром.

Перевагами ніхрому є хороші механічні властивості як при низьких, так і при високих температурах; хороші технологічні властивості - пластичність і зварюваність; добре обробляється; не старіє, немагнітний.

Для розробки нагрівача необхідно провести ряд розрахунків для визначення довжини та діаметру ніхромової проволочки[13,14].

Перше, що необхідно зробити - порахувати об'єм камери всередині печі.

Радіус внутрішнього циліндра  $R = 0,1$  дм, довжина циліндра  $L = 2$ дм, відповідно об'єм  $V$  дорівнює:

$$V = 4\pi R^2 \cdot L = 4 \cdot 3.14 \cdot 0.1^2 \cdot 2 = 0.062 \text{ (дм}^3\text{)} = 0,062 \text{ (л)}.$$

Далі необхідно визначити потужність, яку повинна видавати піч. Потужність вимірюється в Ватах (Вт) і визначається по емпіричному правилу:

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32



для печей менше 1 літра питома потужність  $P$  складає 2000 Вт/л[], звідки потужність  $P_n$  нагрівача, що розраховується:

$$P_n = P \cdot V = 2000 \cdot 0.062 = 124 \text{ (Вт.)}$$

Потім потрібно знайти силу струму, що проходить через нагрівач:

$$I = \frac{P_n}{U}, \quad (3.1)$$

де  $P_n$  - потужність нагрівача,  $U$  - напруга на нагрівачі (між його кінцями), (розроблюваний нагрівач працюватиме від напруги 36В, оскільки живлення від мережі 220В недопустиме для невеликих нагрівачів), і опір нагрівача  $R$ :

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3.2)$$

За формулою 3.1 струм, що проходить через нагрівач:

$$I = \frac{P_n}{U} = \frac{124}{36} = 3.4 \text{ (А)}.$$

Опір нагрівача за формулою 3.2:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{36}{3.4} = 10,6 \text{ (Ом)}.$$

Після визначення опору нагрівача при відповідному підключенні до електричної мережі необхідно підібрати діаметр і довжину дроту.

З попередніх розрахунків нам відомо опір нагрівача. Для високотемпературних печей (при температурі понад 700 - 800 ° С) допустима поверхнева потужність  $\beta_{\text{доп}}$  (Вт/м<sup>2</sup>), дорівнює:

$$\beta_{\text{доп}} = \beta_{\text{еф}} \cdot \alpha, \quad (3.3)$$

де  $\beta_{\text{ef}}$  - поверхнева потужність нагрівачів в залежності від температури теплосприймаючої середовища [Вт/м<sup>2</sup>],  $\alpha$  - коефіцієнт ефективності випромінювання.  $\beta_{\text{ef}}$  вибирається по таблиці 3.1,  $\alpha$  - по таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Ефективна питома поверхнева потужність нагрівачів в залежності від температури теплосприймаючої середовища

Температура теплосприймаючої поверхні, °С	В <sub>ef</sub> , Вт/см <sup>2</sup> при температурі нагрівача, °С				
	800	850	900	950	1000
100	6,1	7,3	8,7	10,3	12,5
200	5,9	7,15	8,55	10,15	12,0
300	5,65	6,85	8,3	9,9	11,7
400	5,2	6,45	7,85	9,45	11,25
500	4,5	5,7	7,15	8,8	10,55
600	3,5	4,7	6,1	7,7	9,5
700	2	3,2	4,6	6,25	8,05
800	-	1,25	2,65	4,2	6,05
850	-	-	1,4	3,0	4,8
900	-	-	-	1,55	3,4
950	-	-	-	-	1,8

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнта ефективності випромінювання

Розміщення нагрівачів	Коефіцієнт $\alpha$
Дротові спіралі, напівзакриті	0,16 - 0,24
Дротові спіралі на поличках в трубках	0,30 - 0,36
Дротові зигзагоподібні (Стрижневі) нагрівачі	0,60 - 0,72
Стрічкові зигзагоподібні нагрівачі	0,38 - 0,44
стрічкові профільовані(Ободової) нагрівачі	0,56 - 0,7

Припустимо, що температура нагрівача 900° С, і хочемо нагріти заготовку до температури 700° С. Тоді за таблицею 3.1 підбираємо  $\beta_{\text{ef}} = 4,6$  Вт/см<sup>2</sup>, а за таблицею 3.2 -  $\alpha = 0,24$ , звідки:

$$\beta_{\text{доп}} = \beta_{\text{ef}} \cdot \alpha = 4,6 \cdot 0,24 = 1,1 \text{ (Вт/см}^2\text{)}.$$

Після визначення допустимої поверхневої потужності нагрівача необхідно знайти його діаметр (для дротяних нагрівачів) або ширину і товщину (для стрічкових нагрівачів), а також довжину.

Діаметр дроту можна визначити за такою формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho_t P^2}{\pi^2 U^2 \beta_{\text{доп}}}}, \quad (3.4)$$

де  $d$  - діаметр дроту, [м];  $P$  - потужність нагрівача, [Вт];  $U$  - напруга на кінцях нагрівача, [В];  $\beta_{\text{доп}}$  - допустима поверхнева потужність нагрівача, [Вт / м<sup>2</sup>];  $\rho_t$  - питомий опір матеріалу нагрівача при заданій температурі, [Ом · м].

Значення  $\rho_t$  визначається за формулою:

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot k, \quad (3.5)$$

де  $\rho_{20}$  - питомий електричний опір матеріалу нагрівача при 20°C, [Ом · м],  $k$  - поправочний коефіцієнт для розрахунку зміни електричного опору в залежності від температури (по ГОСТ 12766.1-90)[].

Довжину дроту можна визначити за такою формулою:

$$l = \sqrt[3]{\frac{PU^2}{4\pi\rho_t\beta_{\text{доп}}^2}}, \quad (3.6)$$

де  $l$  - довжина дроту, [м].

Підберемо діаметр і довжину дроту з ніхрому Х20Н80. Питомий електричний опір матеріалу нагрівача:

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot k = 1,13 \cdot 10^{-6} \cdot 1,025 = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho_t P^2}{\pi^2 U^2 \beta_{\text{доп}}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,15 \cdot 124^2}{10^6 \cdot \pi^2 \cdot 36^2 \cdot 1,1 \cdot 10^4}} = 0,8 \text{ (мм)}$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{PU^2}{4\pi\rho_t\beta_{\text{доп}}^2}} = \sqrt[3]{\frac{124 \cdot 36^2}{4 \cdot \pi \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot (1,1 \cdot 10^4)^2}} = 4,5 \text{ (м)}$$

Даний розрахунок дає мінімальний діаметр проволочки, при якому вона може бути використана в якості нагрівача при заданих умовах. З точки зору економії матеріалу такий розрахунок є оптимальним. При цьому також може бути використана проволочка більшого діаметру, але тоді її кількість зросте.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

На підготовлену керамічну трубку ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (попередньо очищену за допомогою мильної води, та знежирену за допомогою спирту) намотати біфілярно ніхромову проволочку діаметром 1 мм. Заготовка обмотується коаліновою ватою МКРР-130, що виступає термоізолятором. Одягнути підготовлену аналогічним способом зовнішню трубку на отриману заготовку.

Краї конструкції ізолювати за допомогою високотемпературної замазки[16].

Перевагою керамічних трубок є їх термостійкість та теплопровідність. Крім цього такі трубки виробляються в промислових масштабах в різних діаметрах.

Глинозем є найбільш економічно ефективним і широко використовуваним матеріалом в сімействі інженерної кераміки. Сировина, з якого виготовлений цей високоефективний технічний клас кераміки, є легко доступно і за розумною ціною, що призводить до гарної вартості в виготовлених формах глинозему. З відмінним поєднанням властивостей і привабливою ціною, не дивно, що дрібнозернистий технічний сорт глинозему має дуже широкий спектр застосування.

Широко виробляються 90-99.7% алюмінієві трубки, стрижні і різних промислових керамічних деталей, які в основному використовуються при застосуванні термопар, різних промислових печей (містить вакуумну піч, піч карбюрації, дрова піч, атмосферна піч і т. д.), особливо широко використовується в нафтохімічних, спінінгові, електричних, інструментальних, механічних приладах, військовий проектах і т. д.[15].

Вата вогнетривка теплоізоляційна МКРР - 130 (Муллітокремнеземне волокно) - проводиться плавкою в електричній печі чистих оксидів алюмінію і кремнію з наступним утворенням волокна методом роздування. Для додавання матеріалу форми килима в волокна додається невелика кількість органічного або неорганічного зв'язуючого. У розплав вводяться оксиди цирконію або хрому для підвищення температури застосування волокна. Вата МКРР - 130

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

теплоізоляційний вогнетривкий - ефективний ізоляційний матеріал. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.3[15].

Таблиця 3.3 — Технічні характеристики вогнетривкої теплоізоляційної вати МКРР - 130

Марка	МКРР-130
Стандарт	ГОСТ 23619
Зв'язуюча речовина	органічна, неорганічна
Густина, не більше, кг / м <sup>3</sup>	130
Температура використання максимальна, °С	1260
Температура тривалого використання, °С	1150
Втрата маси при 1000 °С, не більше, %	0.6
Теплопровідність при 600 °С, не більше, Вт/ (м*К)	0.18
Теплоємність при 1000 °С, кДж / ( кг*К )	1.047
Діаметр волокна не більше, мкм	4
Хімічний склад, %	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , в межах	51-55
ZrO <sub>2</sub> , не більше	-
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> ), не менше	97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не більше	0.2

Мулітокремнеземне волокно використовується в якості теплоізоляційного і термокомпенсаційного матеріалу, для виготовлення вогнетривких і інших виробів складної конфігурації (гальмівних колодок та інших), для високотемпературної фільтрації газів і інших застосувань.

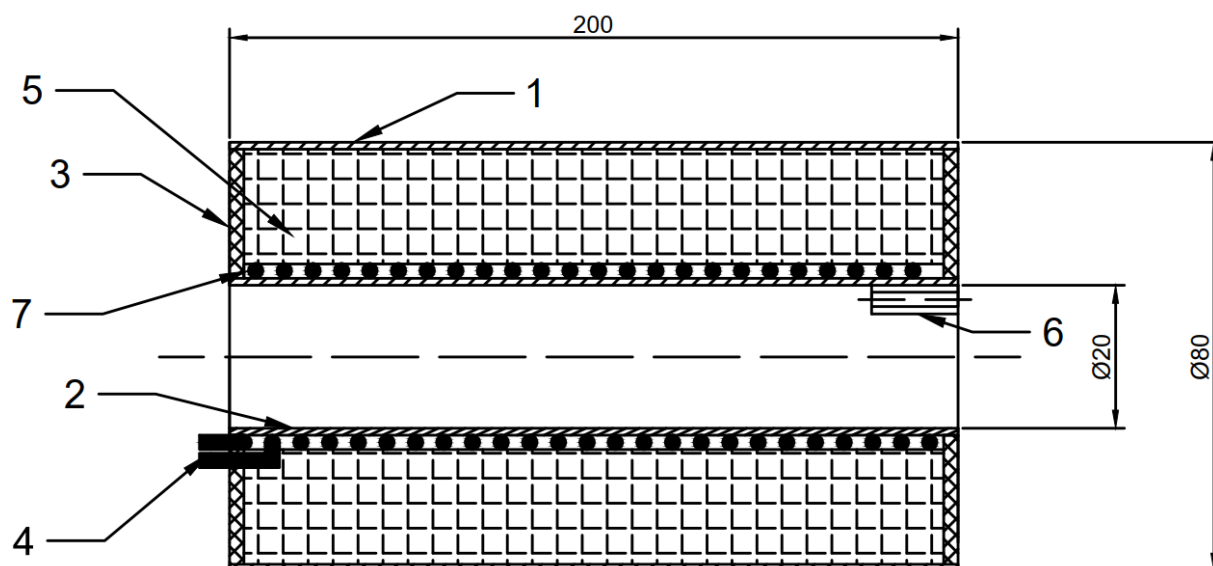


Рисунок 3.1 — Конструкція нагрівача : 1 – зовнішня оболонка; 2 – внутрішня оболонка; 3 – спаї; 4 – контакти ніхромової проволочки; 5 –

каолінова вата; 6 – корпус для кріплення термопари, 7 – біфілярно намотана ніхромовою проволока.

Для підтримання робочого діапазону температур (600-800°C) необхідно в режимі реального часу контролювати температуру активної зони генератору, для регуляції роботи нагрівача. При досягненні температури 700°C нагрівач слід відключати.

На сьогодні найбільше розповсюдження в області вимірювання високих (більше 500-700 K) температур отримали термопари, серед яких більшу частину становлять термопари К-типу на спаях хромель-алюмель і подібних. Використання термопар для вимірювання температури в широких діапазонах (300-800 K) більш ефективно у порівнянні з використанням термоперетворювачів опору, термісторів, інтегральних термодавачів. Надійність, стабільність, низька вартість, малий час встановлення показань роблять термопари оптимальним давачем для вимірювання температури нагрівача.

Термопари відносяться до диференціальних вимірювачів температури. Конструктивно термопара являє собою два зварених у одній точці електроди з різних металів, один з яких приймається за додатній, а інший - за від'ємний. У таблиці нижче подано короткі відомості про типи термопар, що на сьогодні використовуються для вимірювання температури. Звернемо увагу, що кожна комбінація електродів, тип термопари, має свої оптимальні умови для використання.

Для нагрівача з робочою температурою 700-1000 K оптимальною є термопара класу К зі сплаву хромель-алюмель.

Проте існує специфіка вимірювання температури за допомогою термопари, пов'язана з температурою „холодного” спаю. На малюнку наведено стандартну схему підімкнення термопари:

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

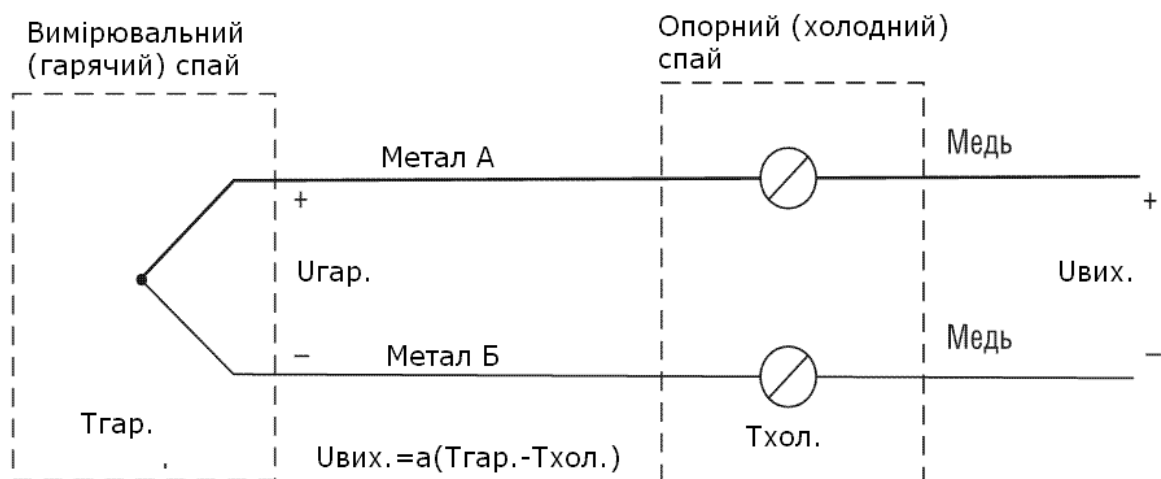


Рисунок 3.2 — Типова схема підключення термопар

Як видно з малюнка, окрім металів термопар використано третій метал, метал-посередник, який утворює додаткові спай. Доки між цими додатковими спаями немає різниці температур, їх термоЕРС компенсується і не впливає на вихідний сигнал. Така схема увімкнення дозволяє вимірювати за вихідним сигналом термопар різницю температур „гарячого” та „холодного” спайів.[17,18] Проте за потреби виміряти абсолютну температуру гарячого спая необхідно знати абсолютну температуру холодного, і провести необхідну корекцію результату. Цей комплекс дій називаються компенсацією температури холодного спая. Визначення температури відбувається за допомогою градуювальної таблиці 3.4[19].

Таблиця 3.4 — Таблиця значень ЕРС термопар хромель - алюмель

T°, C	Температура холодного спая					
Температура робочого спая	20	30	40	50	60	70
-100	-4060	-4320	-4580	-4810	-5030	-5240
-0	-770	-1140	-1500	-1860	-2200	-2540
0	800	1200	1610	2020	2430	2850
100	4920	5330	5730	6130	6530	6930
200	8940	9340	9750	10160	10570	10980
300	13040	13460	13880	14290	14710	15130
400	17240	17670	18090	18510	18940	19360
500	21500	21920	22350	22780	23200	23630
600	25760	26190	26610	27030	27450	27870
700	29970	30390	30810	31230	31650	32060
800	34120	34530	34930	35340	35750	36150

900	38160	38560	38950	39350	39750	40140
1000	42090	42480	42870	43250	43630	44020
1100	45920	46290	46670	47040	47410	47780
1200	49620	49980	50340	50690	51050	51410
1300	53160	53510	53850	54200	54540	54880

Для нашої розробки вимірювання температури холодного спаю не є обов'язковим, оскільки ми маємо великий діапазон робочих температур (600-800°C) і можна прийняти його значення на рівні 30°C, якщо розмістити його на відстані від активної зони та нагрівача.

При досягненні температури 750° С термопара згенерує напругу 34мВ, яка контролюється вольтметром, і за допомогою ключа, що розриває ланцюг температура нагрівача утримується на досягнутому рівні.

### 3.2 Розробка схеми живлення

Для забезпечення живлення приладу необхідно отримати дві вихідні напруги: 36 В змінної напруги – для живлення нагрівача, та та 2В постійного струму для живлення робочої зони. Вибір саме 36В полягає у неможливості використання живлення від мережі 220В, оскільки нагрівач має невеликі розміри, то така напруга може зруйнувати ніхромову проволочку нагрівача, крім цього використання живлення від мережі обмежується властивостями цирконієвої пробірки. Оскільки пробірка має доволі тонкі стінки, вона є чутливою до різких перепадів температури, що можуть призвести до її руйнування. При живлення від 36В нагрівання відбувається поступово, що унеможливорює різкі стрибки температури.

Живлення 2В постійної напруги необхідне для проходження реакції проходження кисню через стінки цирконій оксидної пробірки. Напруга, що перевищує 2В може зашкодити пробірці та зменшити її провідність для кисню.

Для отримання необхідних напруг можна використати два послідовно розміщених понижуючих трансформатора 220/36В, та 36/2В, проте це не є

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40



оптимальним варіантом, для цієї мети можна використати трьох обмоточний трансформатор[20].

Для отримання 2В постійної напруги було використано діодний міст.

Понижуючий трансформатор на вторинних обмотках утворює напругу для активної зони та 36 В для нагрівача. Напруга 2В на виході діодного моста подається на електроди активної зони, Конденсатор С1 необхідний для заглушення пульсацій, в мережу активної зони включений амперметр і ключ К1 (на схемі не зображений).

Напруга 36В подається через на обмотку нагрівача. При досягненні температури  $750^{\circ}\text{C}$  термопара згенерує напругу 24мВ, яка контролюється вольтметром, і за допомогою ключа, що підключений в коло живлення нагрівача температура нагрівача утримується на досягнутому рівні.

Схема підключення живлення зображена на рисунку 3.3.

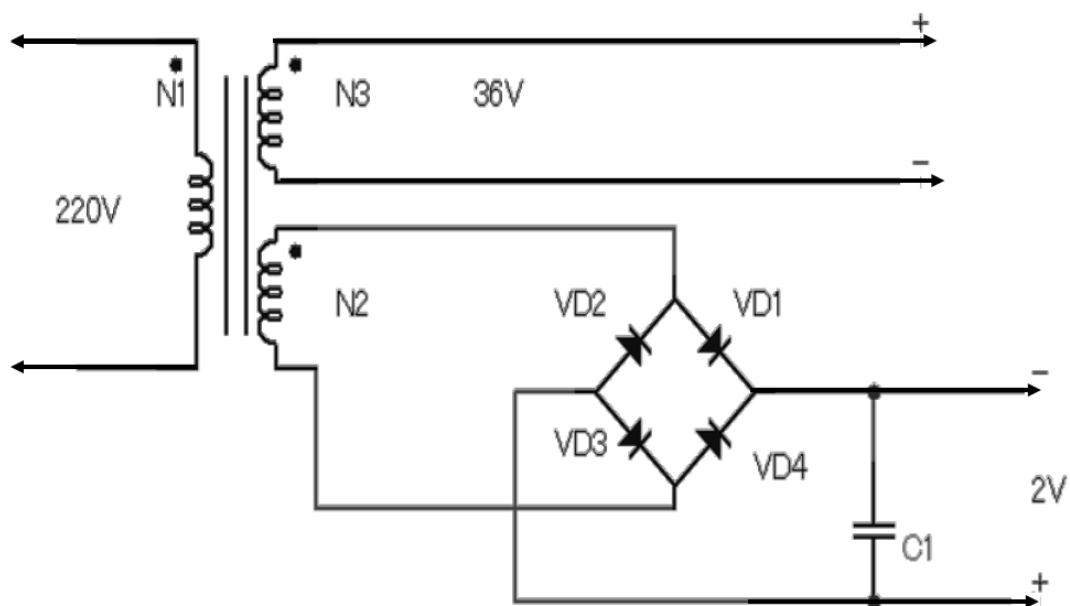


Рисунок 3.3 — Схема живлення розроблюваного генератору кисню  
Вихідні параметри для прорахунку живлення активної зони:

Напруга мережі  $U = 220\text{В}$ , напруга на виході діодного моста  $U_{\text{в}}=2\text{В}$ ,  
Струм на виході діодного моста  $I_{\text{в}}= 1\text{А}$ , допустимий коефіцієнт пульсацій конденсатора  $q =0.01$

Заходимо необхідні параметри трансформатора[21]. Напруга на вторинній обмотці N2 трансформатора  $U_o$ :

$$U_o = 0,75U_B = 0,75 \cdot 2 = 1,5B.$$

Струм на вторинній обмотці N2 трансформатора  $I_o$ :

$$I_o = 1,41 \cdot I_B = 1,41 \cdot 1 = 1,41A.$$

Отже необхідно створити трансформатор напруга вторинної обмотки якого дорівнює 1,5В, а струм не нижче 1,41А.

Звідки потужність трансформатора  $P$ :

$$P = U_o \cdot I_o = 1,5 \cdot 1,41 = 2,2Вт.$$

Возьмемо потужність з запасом – 3Вт

Знаходимо параметри діодів:

Максимальна зворотня напруга:  $U_d = 1,5U_B = 1,5 \cdot 2 = 3B$

Максимальний прямий струм:

$$I_d = 1,2 \cdot I_B = 1,2 \cdot 1 = 1,2(A)$$

Необхідно підібрати діоди з максимальною зворотною напругою 3В та максимальним прямим струмом не нижче 1,2 А.

Рухаємся параметри конденсатора[22]:

Ємність згладжуючого конденсатора  $C$ :

$$C = (300 \cdot I_B / q) / U_B = (300 \cdot 1 / 0,01) / 2 = 15\,000 \text{ (мкФ)}$$

Ємність згладжуючого конденсатора повинна бути не нижче 15000 мкФ.

Максимально допустима робоча напруга конденсатора має бути не нижче 2В.

На рисунку 3.4 представлено схематичне зображення розроблюваного генератору кисню.

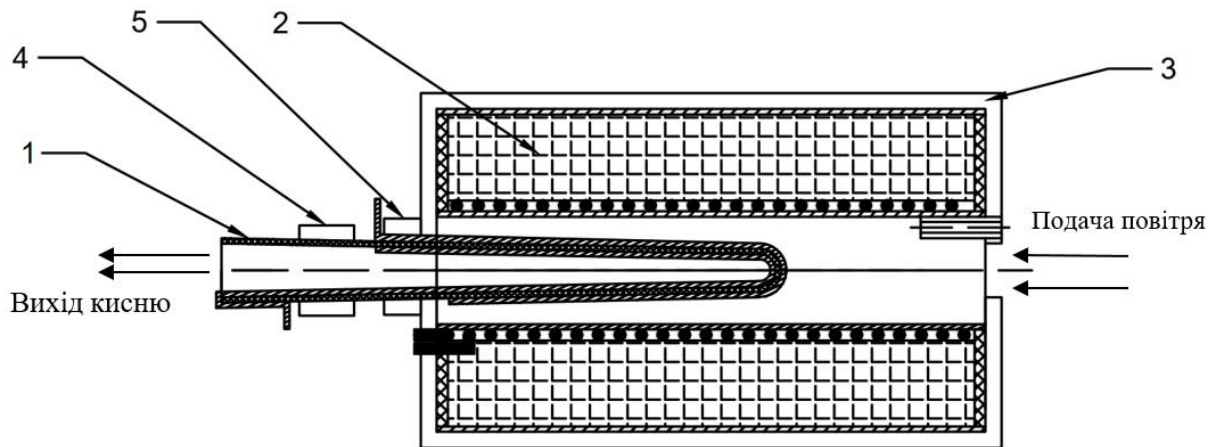


Рисунок 3.4 — Схематичне зображення розроблюваного генератора кисню: 1 – робочий елемент (пробірка з електродами); 2 – нагрівач; 3 – корпус нагрівача; 4,5 – хомути для кріплення робочого тіла.

Корпус нагрівача виконаний з металу, підігнаний під розміри самого нагрівача. Для більш надійного кріплення робочого елемента використано кріплення в двох місцях. В середині нагрівача закріплюється термопара з виводами назовні. В корпусі міститься отвір для циркуляції повітря.

### 3.3 Використання розробленого генератора кисню.

Після розробки прототипу генератора кисню було проведено ряд експериментів для визначення його ефективності та параметрів роботи.

За допомогою манометра ДМ 05-МП-4У були проведені виміри робочого тиску генератора.

За результатами вимірів робочий тиск становить 0.16 Мпа. При цьому тиску спостерігалася нормальна подача кисню. Максимальні значення тиску, які вдалося отримати – 0,3Мпа. При цьому значенні тиску кисень не проходить крізь стінки робочого елемента.

Крім цього важливо дізнатися ефективність приладу, тобто якільки літрів кисню за годину здатен виробити даний генератор. Дослідження проводились за допомогою ротаметра РМА-0.4 – приладу для визначення об'ємної витрати газу або рідини в одиницю часу.

Експеримент показав витрату кисню на рівні 4-6 літрів за годину. Цей показник говорить про ефективність розробленого прототипу генератору кисню.

Цей показник можна підвищити шляхом деяких констукційних змін, наприклад збільшенням площі контакту твердого електроліту з електродами.

Пристрій розроблявся в першу чергу для використання у медицині. В основному це проведення оксигенотерапії.

Оксигенотерапія або киснева терапія - метод лікування захворювань із застосуванням кисню.

У повітрі об'ємна частка кисню - 21%. Чистий кисень може надати токсичну дію на організм, тому даний метод заснований на вдиханні повітря (газової суміші) з підвищеною концентрацією кисню. Чистий кисень сильно висушує дихальні шляхи пацієнта, тому для його зволоження використовують апарат Боброва - ємність з водою, через яку проходить газова суміш. Киснева терапія може здійснюватися як при природному диханні, так і при штучній вентиляції легень. У домашніх умовах використовуються, в першу чергу, домашні кисневі концентратори, що дозволяють здійснювати кисневу терапію до 24 годин на добу. Кисневі подушки і кисневі балони - не ефективні, так як потребують постійних заправках киснем, що в домашніх умовах важкореалізовано. Кисневі аерозольні балончики взагалі не піддаються заправці, тому їх використання виправдане тільки для створення короткочасного резерву кисню. У лікарняних установах подача кисню централізована, тобто джерело кисню - сховища із стиснутим або рідким киснем, звідки виконана киснева розводка по палатах[23].

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний прилад доречно використовувати у місцях де обмежене використання балонів з киснем. Недоліком балонів є їхня вибухонебезпечність, адже в них кисень знаходиться під тиском в зрідженому стані. Тому неправильне поводження з ними може призвести до негативних наслідків. Крім цього балони потребують додаткового обладнання для подачі кисню до пацієнта. Вони є громіздкими і незручними. В певних випадках ці недоліки ускладнюють використання балонів. Також балони мають обмежений ресурс, тобто кисень в них закінчується і в певних випадках його доставка може бути проблематичною.

Використання даного приладу доречне в пунктах швидкої допомоги на периферії, каретах швидкої допомоги, польових госпіталях, ФАП де може знадобитися кисень у великих кількостях, але забезпечення балонами з киснем затруднене. Тому перевагою даного приладу є, фактично, необмежена безперервна подача кисню пацієнтам.

Також варто відмітити, що кисень використовується не лише в медицині, а і в інших сферах людського життя: косметології, харчовій промисловості, сільському господарстві, в інших галузях промисловості. Так, наприклад, набуває популярності косметична процедура, в якій кисень грає роль голки - він дозволяє прицільно вводити активні компоненти спеціальних препаратів точно в проблемні ділянки шкіри. Досягається це за рахунок здібностей низькомолекулярних речовин проникати в глибокі шари епідермісу в результаті впливу на шкіру струменя кисню під тиском 2 атмосфери. Кисень разом з біологічно активними речовинами по міжклітинному просторі може проникати в шкіру аж до базальної мембрани[24].

Чистий кисень давно застосовується в харчовій промисловості і класифікується як добавка Е948. Його використовують в процесі упаковки свіжих продуктів, для активізації зростання дріжджових клітин, для приготування коктейлів і т. Д.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Найчастіше кисень застосовується в харчовій промисловості як пакувальний газ (наприклад, для збереження червоного м'яса). Для цього в герметичну упаковку разом з азотом і вуглекислотою вводиться до 80% добавки E948. Для цих же цілей невелику кількість газоподібного кисню додається в ємності з наступними продуктами рослинного походження:

- яблука (до 3%);
- цибуля і салат (до 5%);
- полуниця (до 10%) і т. д.

Цей газ також використовується в пивоварінні і виноробстві. За допомогою примусового введення кисню (аерації) можна прискорити процес бродіння. При нормальних умовах приготування двадцятилітрових бутлі пива триває досить довго. Якщо застосувати метод аерації, то тривалість процесу скорочується до декількох хвилин. При цьому зміст природного спирту в пиві доходить до 10-12 проміле (проти 8 в першому випадку).

Аналогічна технологія застосовується для приготування вина. Результатом аерації стає прискорення зростання дріжджових клітин і окислювальних реакцій, а також активізація процесу біосинтезу. При цьому якість кінцевого продукту (вина) анітрохи не страждає[25].

Розроблений генератор може задовільнити потреби в кисні в описаних галузях. Також генератор може знайти своє застосування у виробництві кисневих пінок та коктейлей.

### Висновки до розділу 3

В даному розділі було розглянуто основні етапи розробки нагрівача для активної зони твердоелектролітного генератору кисню а також схему живлення для нагрівача та активної зони.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

Нагрівач було виконано в формі циліндра в середину якого поміщається та закріплюється пробірка з електродами, що генерує кисень. В якості нагрівального елементу було обрано ніхромову проволочку, оскільки вона має найбільш оптимальні властивості. Було розраховано необхідний діаметр та довжину проволочки. Для термоізоляції було використано каолінову вату, що є чудовим ізолятором, та високотемпературну замазку, для ізоляції місць з'єднань.

Схему живлення було реалізовано на трьохобмоточному понижуючому трансформаторі, оскільки нагрівач працює від змінної напруги 36В, а для живлення активної зони генератору необхідно 2В постійної напруги. 2В постійної напруги отримано завдяки використанню діодного моста, для якого розраховані необхідні вимоги до підбору елементної бази.

Було експериментально досліджено показники ефективності прототипу приладу, та досліджено сфери його застосування. Основним його призначенням є заміна непрактичних балонів в місцях, де їх застосування обмежене. Це, наприклад, карети «швидкої допомоги» та польові шпиталі. Проте застосування даного приладу не обмежується лише медициною. Його можна використати і в інших галузях, таких як косметологія, харчова промисловість, виноробство та інші.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1 Характеристика об'єкту, який розробляється

##### 4.1.1 Характеристики об'єкту

Прилад використовується для генерації кисню надвисокої чистоти безпосередньо з повітря. Основні технічні характеристики генератору і його функціональних блоків наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Характеристики генератора і його функціональних блоків

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	Генератор Кисню	Напруга живлення : 220В, 50Гц Робочий струм: 1.5-2 А Час виходу на робочий режим: 20-30 хв Продуктивність: 2-4 л/год Робочий тиск: 1.6 атм. Максимальний тиск: 3 атм. клас виробу за способом захисту	1	-
2.	Блок живлення	Робоча напруга: 220В Робоча частота: 50 Гц Температурний режим: -30...+50° С	1	1
3.	Блок нагрівання	Напруга живлення нагрівача: 36В Робоча температура: 700°С Матеріал нагрівача: ніхром Плавкий запобіжник, захисний кожух.	1	2
4.	Блок давача кисню	Живлення кулонометричної пари: 1.8В Струм живлення: до 1А Робочий тиск: 1.6 атм. Максимальний тиск: 3 атм.	1	3
5.	Блок давача струму дозування	Струм дозування: 7-200 мА Потужність 0,25 Вт	1	4



#### 4.1.2 Складові частини генератора кисню

Функціональну схему генератора кисню наведено на рис. 4.1.

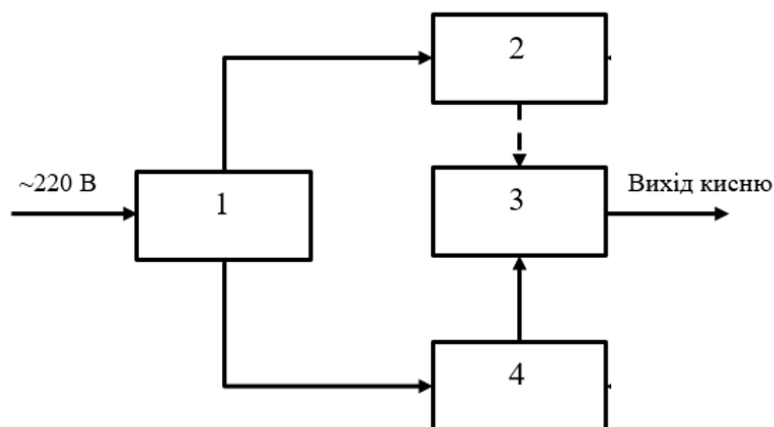


Рисунок 4.1 — Функціональна схема генератору кисню: 1 – Блок живлення, 2 – Блок нагрівання, 3 – Блок давача кисню, 4 – Блок давача струму дозування.

Суцільною лінією позначають електричний зв'язок, штрихованою – тепловий.

За допомогою нагрівача, що живиться від мережі 220 В нагрівається робоча зона. При високій температурі, під дією електричного струму, що подається блоком давача струму дозування з повітря, через твердий електроліт проникає кисень та подається на вихід.

#### 4.1.3 Характер взаємодії генератору в системі «людина – об'єкт»

Засоби отримання інформації про роботу приладу представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 — Взаємодія генератора в системі «людина – об’єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1.	Блок нагрівача	Значення напруги на термопарі за допомогою вольтметра М42300	1
2.	Блок давача кисню	Індикатор тиску – манометр ДМ 05-МП-4У, індикатор витрати повітря - ротаметр РМА-0,4	1

Наявність вольтметра термопарі дозволяє контролювати найважливіші ділянки генератору кисню: температури нагрівача і відповідно температури робочої зони. Індикатори тиску та витрати повітря дозволяють контролювати стан давача кисню.

4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією генератора кисню та заходи їх усунення.

#### 4.2.1 Теплові небезпеки

В таблиці 4.3 наведено ключові небезпеки зв'язані з підвищеною температурою елементів приладу. В таблиці 4.4 порівнянні реальні та нормативні значення факторів небезпеки. В таблиці 4.5 подані відповідні заходи для уникнення можливих небезпек.

Таблиця 4.3 — Основні теплові небезпеки

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Блок нагрівання	Деталі що нагріваються	Висока температура нагрівача	Опіки людини

Виходячи з конструкційних особливостей приладу найбільшу теплову небезпеку становить нагрівач давача кисню.

Таблиця 4.4 — Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Температура нагрівача	700°C	43°C[26]

Таблиця 4.5 — Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби	Термоізоляція нагрівача та робочої зони	Захист елементів від перенагріву
		Хромель-алюмельна термопара робочої зони	Індикація температури робочої зони
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації;	Доступність знань щодо експлуатації приладу;
		Первинний інструктаж з ОП	Навчання з питань безпеки
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Систематична перевірка справності генератору	Достовірність інформації
5.	ЗІЗ	Не передбачені;	

Описані в таблиці 4.5 заходи суттєво підвищують безпечність приладу від опіків.

#### 4.2.2 Механічні небезпеки

Таблиця 4.6 — Основні механічні небезпеки

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Блок давача кисню	Уламки частин технологічного обладнання	Руйнівний тиск	Травми персоналу, пошкодження обладнання

Таблиця 4.7 — Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
2.	Тиск у системі	0.16-0.3 МПа	0.5 МПа[27]

Таблиця 4.8 — Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби	Запобіжні клапани	Запобігання перевищення допустимого тиску
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації;	Доступність знань щодо експлуатації приладу;
		Первинний інструктаж з ОП	Навчання з питань безпеки
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Систематична перевірка справності генератору	Достовірність інформації
5.	ЗІЗ	Не передбачені;	

Описані в таблиці 4.8 заходи допоможуть уникнути небезпек пов'язаних з підвищеним тиском у системі.

#### 4.2.3 Небезпека пожежі

У блоках нагрівча та давача кисню існує можливість загоряння, оскільки ці зони знаходяться під дією високої температури. Причини їх виникнення та способи уникнення наведено в таблицях 4.9-4.11.

Таблиця 4.9 — Основні небезпеки пожежі

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Блок давача кисню	Ізоляційне покриття, ущільнювачі	Висока температура	Загоряння приладу, виникнення пожежі
2.	Блок нагрівача	Матеріали ізоляції	Висока температура	Загоряння приладу, виникнення пожежі

Таблиця 4.10 — Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Температура нагрівача	700°C	1200 °C

Таблиця 3.11 — Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби	Ізоляція струмопровідних частин, гальванічна розв'язка; використання термостійкої ізоляції	Захист від стрибків напруги; захист елементів від перенагріву
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації; навчання персоналу	Доступність знань щодо безпеки експлуатації приладу;
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Систематична перевірка справності генератору та його функціональних елементів	Своєчасне виявлення дефектів, які можуть призвести до загоряння;
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

Так як ризик виникнення пожежі пов'язаний з горінням твердих речовин при високих температурах, то генератор що проектується, належить до класу В пожежонебезпечної техніки[28].

#### 4.2.4 Небезпека ураження людини електричним струмом

Також джерелом небезпеки є контакт людини зі струмопровідними елементами або елементами, що знаходяться під напругою. Причини їх виникнення та способи уникнення наведено в таблицях 4.12-4.15.

Таблиця 3.12 — Основні небезпеки електричного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Блок давача струму дозування	Змінний струм	Відсутність корпусу або відкрита кришка корпусу	Ураження електричним струмом

Таблиця 4.13 — Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Максимальний струм	> 1 А	1 А

Таблиця 4.14 — Заходи з забезпечення безпеки роботи генератора

кисню

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні засоби для блоку давача струму дозування	Ізоляція струмопровідних частин, гальванічна розв'язка	Уникнення контакту зі струмопровідними частинами;
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації, навчання персоналу	Доступність знань щодо безпеки експлуатації приладу;
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Перевірка на цілісність ізоляції	Забезпечення безпечної роботи з об'єктом;
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

При роботі з генератором достатньо дотримуватися стандартних норм роботи з електричним обладнанням.

#### 4.3 Розробка «Інструкції з техніки безпеки при експлуатації генератору»

1. Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки:

- генератор може експлуатувати тільки навчений персонал;
- обслуговування та налагодження генератору кисню може здійснювати тільки кваліфікований фахівець (сервісний інженер);

2. Технологічні вимоги щодо дотримання заходів безпеки перед початком роботи, під час роботи і після закінчення роботи та в умовах надзвичайних ситуацій:

- перед включенням генератора слід уважно оглянути усі кабелі на відсутність пошкоджень ізоляції;

— перед початком роботи необхідно перевірити прилад, сполучні кабелі і не використовувати, якщо наявні очевидні ознаки псування і дефекти, що можуть бути ризиком для безпеки або правильної роботи приладу;

— забороняється застосовувати прилад у зоні високої статичної напруги або пристроїв з високою напругою;

— заборонено використовувати генератор у безпосередній близькості з займистою сумішшю, або іншими горючими речовинами;

— в умовах аварійної ситуації рекомендується відключити прилад від мержі живлення та/або уникати з ним контакту без засобів індивідуального захисту.

1. Особливості обслуговування генератору, безпечні прийоми роботи:

— під час транспортування слід загорнути прилад в упаковку, яка забезпечує його максимальний захист, уникати різких ударів та поштовхів;

— прилад повинен проходити сервісне обслуговування на регулярній основі (раз на 1 рік). Результати тестів повинні документуватися і порівнюватися зі значеннями в супровідних документах.

#### Висновки до розділу 4

У розділі 4 було виявлено та оцінено потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, створені конструкцією генератору, та заходи їх усунення. Основну небезпеку становлять електричні фактори, а також ризики, пов'язані з використанням нагрівача високої температури.

У результаті оцінки потенційних небезпек розроблено інструкцію з техніки безпеки при експлуатації генератора кисню.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання роботи було розроблено генератор кисню з використанням твердих електролітів для використання у медицині та інших галузях людського життя.

В першу чергу було досліджено сфери застосування кисню та вимоги які ставляться до кисню медичного призначення. Після цього було розглянуто сучасні пристрої-аналоги для виробництва кисню. Існуючі технології мають певні недоліки, що обмежують їх використання в медицині. Також були розглянуті властивості матеріалів, які можна використати в якості твердих електролітів.

На основі отриманої інформації було прийнято рішення про створення генератору кисню на основі твердоелектролітного вимірювального перетворювача. Було розроблено конструкцію робочої зони генератору. В якості твердого електроліту було використано діоксид цирконію, що володіє властивістю провідності для йонів кисню. Для проходження реакції активну зону необхідно нагрівати, тому було розроблено конструкцію нагрівача, що дозволяє досягнути необхідної температури. Було розглянуто схему живлення для нагрівача та робочої зони. Крім цього було розглянуто можливі сфери застосування генератору. Основним призначенням є виробництво кисню для проведення оксигенотерапії в умовах, при яких використання стандартних засобів подачі кисню ускладнене, а саме карети «швидкої допомоги», польові шпиталі, крім цього генератор можна використовувати і в інших сферах, таких як харчова промисловість, косметологія, виноділля.

В ході роботи велась співпраця з наступними організаціями:

— факультет конструювання та дизайну НУБіП України;

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фармацевтична енциклопедія / голова ред. ради та автор передмови В. П. Черних ; Нац. фармац. ун-т України. — 3-тє вид., переробл. і доповн. — Київ : МОРІОН, 2016. — 1951 с.

2. КИСЕНЬ МЕДИЧНИЙ ГАЗОПОДІБНИЙ газ (КИСЛОРОД МЕДИЦИНСКИЙ ГАЗООБРАЗНЫЙ газ 40 л баллон №1) [Електронний ресурс] // MORION. — 2019. — Режим доступу до ресурсу: <https://compendium.com.ua/dec/273368/>.

3. Акулов А. К. ПРОИЗВОДСТВО АЗОТА МЕТОДОМ КОРОТКОЦИКЛОВОЙ БЕЗНАГРЕВНОЙ АДСОРБЦИИ / А. К. Акулов. // ЭКСПОЗИЦИЯ НЕФТЬ ГАЗ. — 2016.

4. Мартынов В. В., Остапенко М. А. Сравнительный анализ адсорбционного и мембранного способов промышленного производства азота / В. В. Мартынов, М. А. Остапенко // Материалы X Международной научной конференции аспирантов и студентов «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» — Донецк, ДонНТУ — 2016.

5. Аналіз наявних технологій розділення повітря для підвищення / М.П. Кулик, Т.Ю. Кравець, М.М. Семерак // Екологічні науки : науково-практичний журнал. — Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління. — 2018. — № 2(21). — С. 59–64.

6. Електрохімічний електролізер водяної пари / В.Л. Гончарук, А.А. Троц, М.А. Троц, В.Г. Янів // Вісник університету «Україна». Серія «Сучасні інженерні технології». — 2013. — № 1(16). — С. 116–122.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

7. О механизме ионной проводимости в стабилизированном кубическом диоксиде циркония / В. Г. Заводинский. // Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук. – 2004. – С. 441–445.

8. Андреев В. А. Конструкция топливных элементов / В. А. Андреев, А. В. Безбородов, И. Н. Паскарь // III Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» 13-15 декабря 2017 г., с. (205-1) - (205-3).

9 Троц А.А. ” Високотемпературне твердоелектролитные комбинированные измерительные преобразователи парціального давления кислорода ” Киев “Киевский политехнический институт” 1993г.-199 с.

10. Патент України № 13376. Електрохімічний датчик / Таланчук П.М., Голубков С.П., Троц А.А.; заявл. 22.10.91.; опубл. 28.02.97.; Бюл. № 1

11. Патент України № 34543А. Електрохімічний датчик / Таланчук П.М., Герман М.С., Троц А.А. та інші; заявл. 05.02.98., опубл. 15.03.2001.; Бюл. № 2

12. Любич О. Й. Фізичні основи металургії, кольорових і рідкоземельних металів: навчальний посібник / О. Й. Любич. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 226 с.

13. Никонов Н. В. Нагреватели. Методика и примеры расчета / Н. В. Никонов., 2012. – (ООО "Метотехника").

14. Расчет параметров электронагревателей для печи, расчет нихромовой спирали [Электронный ресурс] // TEN24. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://ten24.com.ua/blog/raschet-parametrov-elektronagrevateley-dlya-pechi-raschet-nikhromovoy-spirali/>.

15. Теплоизоляционная Вата МКРР-130 [Электронный ресурс] // Selmo. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [https://selmo.com.ua/vata\\_ogneupornaya\\_mkrr\\_130/#](https://selmo.com.ua/vata_ogneupornaya_mkrr_130/#).

16. Высокотемпературная замазка STOVEX [Электронный ресурс] // Unipak. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: [tps://unipak.dk/uk/каталог/special-products/высокотемпературная-замазка-stovex](https://unipak.dk/uk/каталог/special-products/высокотемпературная-замазка-stovex).

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

17. ГОСТ Р 8.585-2001 «Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования»

18. ГОСТ 8.338-2002 «Преобразователи термоэлектрические. Методики поверки»

19. Термопара хромель - алюмель, значения ЭДС (Таблица) [Электронный ресурс] // infotables.ru. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://infotables.ru/fizika/334-termopara-khromel-alyumel-znacheniya-eds-tablitsa..>

20. Трехобмоточный трансформатор. Расчет трехобмоточного трансформатора. Схема трехобмоточного трансформатора. [Электронный ресурс] // мтомд.инфо. – 2009. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.mtomd.info/archives/2412>.

21. Простой расчет выпрямителя с сетевым трансформатором [Электронный ресурс] // RadioStorage.net. – 2009. – Режим доступа до ресурсу: <http://radiostorage.net/4635-prostoj-raschet-vypryamitelya-s-setevym-transformatorom.html>.

22. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / В. П. Берзан, Б. Ю. Геликман, М. Н. Граевский и др.; Под ред. Г. С. Кучинского.- М.: Энергоатомиздат, 1987. -656 с.

23. Методи проведення оксигенотерапії [Электронный ресурс] // тудопедия.Орг. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://studopedia.org/13-46915.html>.

24. ЧТО ПРОИСХОДИТ В КОЖЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КИСЛОРОДНЫХ ИНЪЕКЦИЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ? [Электронный ресурс] // Салонный маркетинг. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://salonmarketing.pro/blog/kislород-vместo-igly--что-нам-обесчаet-kislородnaya-terapiya-v-borbe-za-molodost-i-krasotu-kozhi.html>.

25. Применение кислорода в пищевой промышленности [Электронный ресурс] // ПроВИТА. – 2016. – Режим доступа до ресурсу:

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://www.provita.ru/articles/11-aprelya-2016-primenenie-kisloroda-v-pishchevoy-promyshlennosti/#:~:text=Чистый%20кислород%20давно%20применяется%20в%20пищевой%20промышленности%20и%20классифицируется%20как%20добавка%20E948.&text=Чаще%20всего%20кислород%20применяется%20в,вводится%20до%2080%20%25%20добавки%20E948..>

26. ДСТУ EN 563-2001 Безпечність машин

27. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.

28. ДСТУ EN 2:2014 "Класифікація пожеж" (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		